

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-017981

(43)Date of publication of application : 17.01.2003

(51)Int.Cl.

H03H 9/25  
 C01G 33/00  
 C30B 29/30  
 H01L 41/08  
 H01L 41/09  
 H01L 41/18  
 H03B 5/30  
 H03H 9/145  
 H03H 9/72

(21)Application number : 2002-073090

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 15.03.2002

(72)Inventor : IWASHITA SETSUYA  
 HIGUCHI AMAMITSU  
 MIYAZAWA HIROSHI

(30)Priority

Priority number : 2001081349  
 2001081350

Priority date : 21.03.2001  
 21.03.2001

Priority country : JP

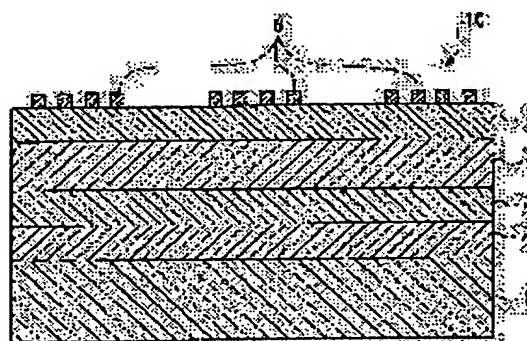
JP

(54) SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICE WITH  $\text{KNbO}_3$  PIEZOELECTRIC THIN FILM, FREQUENCY FILTER, OSCILLATOR, ELECTRONIC CIRCUIT, AND ELECTRONIC APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface acoustic wave device with high  $k^2$ , a frequency filter, an oscillator, an electronic circuit, and an electronic device employing the surface acoustic wave device.

SOLUTION: A first oxide thin film layer 2 comprising  $\text{SrO}$  or  $\text{MgO}$  and a second oxide thin film layer 3 comprising  $\text{SiTiO}_3$  are sequentially formed on top of a 110 Si substrate 1, or a first oxide thin film layer 12 comprising  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , or yttrium-stabilized zirconia and a second oxide thin film layer 13 comprising  $\text{SrTiO}_3$  are sequentially formed on top of a (100) Si substrate 11, a  $\text{KNbO}_3$  piezoelectric thin film 4 (14) is then formed on top of either of these second oxide thin film layer 3, 13, and then, a protective film 5 (15) comprising oxide or nitride is formed on top of the  $\text{KNbO}_3$  piezoelectric thin film, finally, at least one electrode is formed on top of this protective film to form a surface acoustic wave device, which surface acoustic wave device is employed to form a frequency filter, oscillator, electronic circuit, or electronic device.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-17981

(P2003-17981A)

(43) 公開日 平成15年1月17日 (2003.1.17)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 3 H 9/25		H 0 3 H 9/25	C 4 G 0 4 8
C 0 1 G 33/00		C 0 1 G 33/00	A 4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/30		C 3 0 B 29/30	A 5 J 0 7 9
H 0 1 L 41/08		H 0 3 B 5/30	A 5 J 0 9 7
41/09		H 0 3 H 9/145	Z

審査請求 未請求 請求項の致12 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-73090 (P2002-73090)

(22) 出願日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(31) 優先権主張番号 特願2001-81349 (P2001-81349)

(32) 優先日 平成13年3月21日 (2001.3.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2001-81350 (P2001-81350)

(32) 優先日 平成13年3月21日 (2001.3.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 岩下 節也

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 樋口 天光

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100089037

弁理士 渡邉 隆 (外2名)

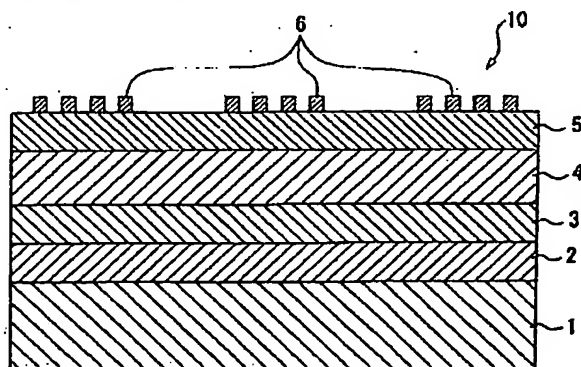
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ニオブ酸カリウム圧電薄膜を有する表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器

## (57) 【要約】

【課題】 高い $k^2$ を有する表面弾性波素子、この表面弾性波素子を用いた周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器を提供する。

【解決手段】 (110) Si基板1上にSrO、若しくはMgOからなる第1の酸化物薄膜層2及びSrTiO<sub>3</sub>からなる第2の酸化物薄膜層3を順に形成し、又は(100) Si基板11上にCeO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、若しくはイットリウム安定化酸化ジルコニウムからなる第1の酸化物薄膜層12およびSrTiO<sub>3</sub>からなる第2の酸化物薄膜層13を順に形成し、これら第2の酸化物薄膜層3、13上にKNbO<sub>3</sub>圧電薄膜4、14を形成し、更に該KNbO<sub>3</sub>圧電薄膜上に酸化物又は窒化物からなる保護膜5、15を形成し、この保護膜の上に電極を形成して表面弾性波素子を作る。この表面弾性波素子を用いて周波数フィルタ、発振器、電子回路、又は電子機器を作る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (110) シリコン基板とニオブ酸カリウム圧電薄膜を有する表面弾性波素子であって、前記シリコン基板、その上に形成された第 1 の酸化物薄膜層、該第 1 の酸化物薄膜層の上に形成された第 2 の酸化物薄膜層、該第 2 の酸化物薄膜層の上に形成された前記ニオブ酸カリウム圧電薄膜、及びその上に形成された酸化物または窒化物からなる保護薄膜を有することを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項 2】 前記ニオブ酸カリウム圧電薄膜が (010) 配向をしていることを特徴とする請求項 1 に記載の表面弾性波素子。

【請求項 3】 前記第 1 の酸化物薄膜層が酸化ストロンチウム、または酸化マグネシウムから形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の表面弾性波素子。

【請求項 4】 第 2 の酸化物薄膜層がチタン酸ストロンチウムから形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の表面弾性波素子。

【請求項 5】 (100) シリコン基板とニオブ酸カリウム圧電薄膜を有する表面弾性波素子であって、前記シリコン基板、その上に形成された第 1 の酸化物薄膜層、該第 1 の酸化物薄膜層の上に形成された第 2 の酸化物薄膜層、該第 2 の酸化物薄膜層の上に形成された前記ニオブ酸カリウム圧電薄膜、及び該ニオブ酸カリウム圧電薄膜の上に形成された酸化物または窒化物からなる保護薄膜を有することを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項 6】 前記ニオブ酸カリウム圧電薄膜が (010) 配向をしていることを特徴とする請求項 5 に記載の表面弾性波素子。

【請求項 7】 前記第 1 の酸化物薄膜層が酸化セリウム、酸化ジルコニウム、又はイットリウム安定化酸化ジルコニウムから形成されていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の表面弾性波素子。

【請求項 8】 第 2 の酸化物薄膜層がチタン酸ストロンチウムから形成されていることを特徴とする請求項 5 ~ 7 の何れか 1 項に記載の表面弾性波素子。

【請求項 9】 請求項 1 ~ 8 の何れか 1 項に記載の表面弾性波素子が備える前記保護膜又は前記圧電薄膜の上に形成された第 1 の電極と、

前記保護膜又は前記圧電薄膜の上に形成され、前記第 1 の電極に印加される電気信号によって前記圧電体層に生ずる表面弾性波の特定の周波数又は特定の帯域の周波数に共振して電気信号に変換する第 2 の電極とを備えることを特徴とする周波数フィルタ。

【請求項 10】 請求項 1 ~ 8 の何れか 1 項に記載の表面弾性波素子が備える前記保護膜又は前記圧電薄膜の上に形成され、印加される電気信号によって前記圧電薄膜に表面弾性波を発生させる電気信号印加用電極と、前記保護膜又は前記圧電薄膜の上に形成され、前記電気

信号印加用電極によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分又は特定の帯域の周波数成分を共振させる共振用電極とを備えることを特徴とする発振器。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の発振器と、前記発振器に設けられている前記電気信号印加用電極に対して前記電気信号を印加する電気信号供給素子とを備えてなり、前記電気信号の周波数成分から特定の周波数成分を選択し若しくは特定の周波数成分に変換し、又は、前記電気信号に対して所定の変調を与え、所定の復調を行い、若しくは所定の検波を行う機能を有することを特徴とする電子回路。

【請求項 12】 請求項 9 に記載の周波数フィルタ、請求項 10 に記載の発振器、及び請求項 11 に記載の電子回路の少なくとも 1 つを有することを特徴とする電子機器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、情報通信分野に用いられる圧電薄膜を有する表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器、とりわけシリコン基板とニオブ酸カリウム圧電薄膜を有する表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器に関するものである。

## 【0002】

【従来技術】現在、表面弾性波素子の性能向上のため、高い電気機械結合係数（以下「 $k^2$ 」と表記する。）を有する圧電材料を用いた表面弾性波素子が望まれている。従来、ニオブ酸リチウムが  $k^2$  が高い材料として知られており、レーリー波で 5.5% を示す。しかし、ELECTRONICS LETTERS Vol. 33, No. 3 (1997) p. 193 に記載されているように、ニオブ酸カリウム（以下「 $\text{KNbO}_3$ 」と表記する。）で  $k^2$  が 50% を超えることが示され近年注目を集めている。また、特開平 10-65488 号公報に記載されているように、 $\text{KNbO}_3$  薄膜を用いた表面弾性波素子も研究されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の表面弾性波素子には、以下のような問題点がある。まず、 $\text{KNbO}_3$  単結晶を用いた表面弾性波素子では、高品質で大きな  $\text{KNbO}_3$  単結晶を作製するのが困難であり、量産性に欠け実用的でない。一方、 $\text{KNbO}_3$  薄膜を用いた表面弾性波素子では、音速や  $k^2$  などの特性が  $\text{KNbO}_3$  の結晶方向に依存するため、 $\text{KNbO}_3$  薄膜の配向コントロールが必要である。特開 2000-278084 号公報に記載されているように、チタン酸ストロンチウム（以下  $\text{SrTiO}_3$ ）の (110) 配向基板を用いることにより  $\text{KNbO}_3$  (010) エピタキシャル膜が得られることが知られている。この指数付けは、b 軸の格子

定数が一番大きいとした場合である。しかし、 $\text{SrTiO}_3$  基板を用いて  $\text{KNbO}_3$  薄膜の配向コントロールができたとしても、2インチ以上の大きな  $\text{SrTiO}_3$  基板を作製することは難しく、やはり量産性に向かない。仮に作製できたとしてもコストの面から実用的ではないと考えられる。

【0004】量産性およびコストを考えるとシリコン（以下「Si」と表記する。）基板を利用することが有望であるが、Si 基板上に直接  $\text{KNbO}_3$  薄膜を形成しても格子のミスマッチなどのため高品質なエピタキシャル薄膜を得ることは困難であり、その結果高い  $k^2$  を得ることもできない。

【0005】本発明の目的は以上に述べた問題点を解決することであり、量産性およびコスト面で有利な Si 基板を用い、Si 基板上に高品質な  $\text{KNbO}_3$  のエピタキシャル薄膜を形成し、高い  $k^2$  を有する表面弾性波素子を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様は、(110) シリコン基板と (010) ニオブ酸カリウム圧電薄膜を有する表面弾性波素子であって、前記シリコン基板上に形成された第1の酸化物薄膜層、該第1の酸化物薄膜層上に形成された第2の酸化物薄膜層、該第2の酸化物薄膜層上に形成された前記ニオブ酸カリウム圧電薄膜、及び該ニオブ酸カリウム圧電薄膜上に形成された酸化物または窒化物からなる保護薄膜を有する表面弾性波素子である。上記構成によれば、シリコン基板上に第1の酸化物薄膜層および第2の酸化物薄膜層を順にエピタキシャル成長させることが可能であり、さらにその上に高品質な  $\text{KNbO}_3$  エピタキシャル薄膜も作製可能となる。特に (010)  $\text{KNbO}_3$  エピタキシャル薄膜の作製が容易となり、量産性およびコスト面で有利な、高い  $k^2$  を有する表面弾性波素子を提供することができる。

【0007】前記第1の酸化物薄膜層は、好ましくは酸化ストロンチウム（以下「 $\text{SrO}$ 」と表記する。）、または酸化マグネシウム（以下「 $\text{MgO}$ 」と表記する。）から形成された物である。これら第1の酸化物薄膜は (110) シリコン基板上にエピタキシャル成長可能であり、最終的に、 $\text{KNbO}_3$  のエピタキシャル成長をさせることを可能にする。この  $\text{KNbO}_3$  は、(010) 配向のものが作製容易である。

【0008】前記第2の酸化物薄膜は、好ましくは  $\text{SrTiO}_3$  から形成された物である。 $\text{SrTiO}_3$  は、上記第1の酸化物上にエピタキシャル成長可能であり、この  $\text{SrTiO}_3$  膜上に  $\text{KNbO}_3$  のエピタキシャル成長を可能にする。この  $\text{KNbO}_3$  は、(010) 配向のものが作製容易である。

【0009】本発明の第2の態様は、(100) シリコン基板と (010)  $\text{KNbO}_3$  圧電薄膜を有する表面弾

性波素子であって、前記シリコン基板、その上に形成された第1の酸化物薄膜層、該第1の酸化物薄膜層上に形成された第2の酸化物薄膜層、該第2の酸化物薄膜層上に形成された前記  $\text{KNbO}_3$  圧電薄膜、及び該  $\text{KNbO}_3$  圧電薄膜上に酸化物または窒化物から形成された保護薄膜を有する表面弾性波素子である。上記構成によれば、シリコン基板上に第1の酸化物薄膜層および第2の酸化物薄膜層を順にエピタキシャル成長させることが可能であり、さらにその上に高品質な  $\text{KNbO}_3$  エピタキシャル薄膜も作製可能となる。特に (010)  $\text{KNbO}_3$  エピタキシャル薄膜の作製が容易となり、量産性およびコスト面で有利な、高い  $k^2$  を有する表面弾性波素子を提供することができる。

【0010】前記第1の酸化物薄膜層は、好ましくは酸化セリウム（以下「 $\text{CeO}_2$ 」と表記する。）、酸化ジルコニウム（以下「 $\text{ZrO}_2$ 」と表記する。）または酸化イットリウム安定化酸化ジルコニウム（以下「YSZ」と表記する。）から形成された物である。これら第1の酸化物薄膜は (100) シリコン基板上にエピタキシャル成長可能であり、最終的に  $\text{KNbO}_3$ 、特に (010)  $\text{KNbO}_3$  のエピタキシャル成長を可能にする。

【0011】前記第2の酸化物薄膜は、好ましくはチタン酸ストロンチウム（以下「 $\text{SrTiO}_3$ 」と表記する。）から形成された物である。 $\text{SrTiO}_3$  は、上記第1の酸化物上にエピタキシャル成長可能であり、この  $\text{SrTiO}_3$  膜上に  $\text{KNbO}_3$ 、特に (010)  $\text{KNbO}_3$  のエピタキシャル成長を可能にする。

【0012】前記第1の態様と第2の態様とを較べれば、第2の態様の方が、酸化物層の形成において、比較的高温高真空を必要としないこと、及び (100) シリコン基板の方が (110) シリコン基板よりも市場に多く出回っていて安価である点で、好ましい。

【0013】本発明の表面弾性波素子は、前記圧電薄膜の上に、又は前記保護薄膜の上に電極が形成される。しかしながら、前記電極を前記圧電薄膜の上に設けるときは、電極形成プロセスにおいて、前記圧電薄膜が水などにより劣化される恐れがあり、また、圧電薄膜及び電極の上に後に保護薄膜を形成したとき、保護薄膜を通して電極を取り出す必要が生じて周波数フィルタの製作が面倒になり、コスト高となる。従って、前記電極は前記保護薄膜の上に形成するのが好ましい。このようなことは、後述の周波数フィルタ及び発振器についても言える。

【0014】本発明の第3の態様は、上記の何れかに記載の表面弾性波素子が備える前記圧電薄膜の上に、又は前記保護薄膜の上に形成された第1の電極と、前記圧電薄膜の上に、又は前記保護薄膜の上に形成され、前記第1の電極に印加される電気信号によって前記圧電薄膜に生ずる表面弾性波の特定の周波数又は特定の帯域の周波数に共振して電気信号に変換する第2の電極とを備えた

ことを特徴とする周波数フィルタである。この構成によれば、 $k^2$ が高いため、比帯域幅の広い周波数フィルタを提供することができる。

【0015】本発明の第4の態様は、上記の何れかに記載の表面弾性波素子が備える前記圧電薄膜の上に、又は前記保護薄膜の上に形成され、印加される電気信号によって前記圧電薄膜に表面弾性波を発生させる電気信号印加用電極と、前記圧電薄膜の上に、又は前記保護薄膜の上に形成され、前記電気信号印加用電極によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分又は特定の帯域の周波数成分を共振させる共振用電極とを備えたことを特徴とする発振器である。この構成によれば、前記表面弾性波素子が備える圧電薄膜の $k^2$ が高いため、伸長コイルを省略することができ、回路構成が簡単な発振器を提供することができる。また、ICとの集積化が可能となり、小型で高性能な発振器を提供することができる。

【0016】本発明の第5の態様は、上記の発振器と、この発振器に設けられている前記電気信号印加用電極に対して前記電気信号を印加する電気信号供給素子とを備え、前記電気信号の周波数成分から特定の周波数成分を選択し若しくは特定の周波数成分に変換し、又は、前記電気信号に対して所定の変調を与え、所定の復調を行い、若しくは所定の検波を行うことを特徴とする電子回路である。この構成によれば、この電子回路に設けられた発振器に備えられた表面弾性波素子を構成する圧電薄膜の $k^2$ が高く、ICとの集積化が可能のため、小型で高性能な電子回路を提供することができる。

【0017】本発明の第6の態様は、上記の周波数フィルタ、上記の発振器、及び上記の電子回路の少なくとも1つを含むことを特徴とする電子機器である。この構成によれば、この電子機器の有する圧電薄膜の $k^2$ が高いため、小型で高性能な電子機器を提供することができる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例にしたがって詳細に説明する。

【実施形態1】図1は本実施形態1における表面弾性波素子の断面構造を示す図である。この表面弾性波素子は、Si基板1と、第1の酸化物薄膜層2と、第2の酸化物薄膜層3と、ニオブ酸カリウム薄膜(KNbO<sub>3</sub>薄膜)4と、保護層としての酸化物または窒化物とからなる薄膜5と電極6で構成される。この電極6は、上部から観察すれば、例えば、図3及び4に示されているようなIDT電極41、42、51、52、53のような形状を持っている。

【0019】上記構成からなる本実施形態の表面弾性波素子の作製プロセスを具体的に示す。まずSi(110)単結晶基板1上に第1の酸化物薄膜層2としてここでは酸化ストロンチウム(以下SrO)薄膜を、レーザーアブレーション法を用いて形成する。 $1.3 \times 10^{-5}$

Pa( $10^{-7}$ Torr)の酸素プラズマ中にて基板温度700℃で成膜したところ、Si(110)基板上に(110)配向のSrO薄膜が形成された。X線回折の極点図によりSrO薄膜の面内配向を調べたところ、面内も配向していることが確認された。すなわち、Si(110)基板上に(110)配向のSrO薄膜がエピタキシャル成長していることが確認された。この配向関係は、SiとSrOとの結晶格子の関係によるものと考えられる。なお、真空度と基板温度は上記値に限られない。ここで、SrOは水分に弱く、電極6のパターニング時にダメージを受けるため、できるだけ薄く形成することが必要である。

【0020】次に、第1の酸化物薄膜層2のSrO薄膜上に第2の酸化物薄膜層3であるSrTiO<sub>3</sub>薄膜を同じくレーザーアブレーション法を用いて形成する。なお、レーザーアブレーション装置は複数のターゲットを装着することが可能であり、連続的にいくつかの異なる材料を成膜することが可能である。0.013Pa( $10^{-4}$ Torr)の酸素プラズマ中、基板温度600℃で成膜したところ、(110)配向のSrO薄膜上に(110)配向のSrTiO<sub>3</sub>薄膜がエピタキシャル成長することが確認された。この配向関係もSrOとペロブスカイト構造のSrTiO<sub>3</sub>との結晶格子および格子定数の関係によるものと考えられる。

【0021】続いて、第2の酸化物薄膜層3のSrTiO<sub>3</sub>薄膜上に圧電材料であるKNbO<sub>3</sub>薄膜4を同じくレーザーアブレーション法を用いて連続形成する。このとき、Kが蒸発しやすいので、ターゲット組成はKリッチにするとよい。0.013Pa( $10^{-4}$ Torr)の酸素プラズマ中、基板温度600℃で成膜したところ、(110)配向のSrTiO<sub>3</sub>エピタキシャル薄膜上に(010)配向のKNbO<sub>3</sub>薄膜4がエピタキシャル成長していることが確認された。このときのKNbO<sub>3</sub>薄膜4の膜厚は1μmとした。SrTiO<sub>3</sub>とKNbO<sub>3</sub>は同じペロブスカイト構造であるが、この配向関係は格子定数の関係によるものであり、特開平10-65488号公報に記載されているものと同じであった。以上のように、(110)Si基板1上に第1の酸化物薄膜層2のSrO薄膜と第2の酸化物薄膜層3のSrTiO<sub>3</sub>薄膜をそれぞれ(110)配向、(110)配向にエピタキシャル成長させることができ、さらにSrTiO<sub>3</sub>薄膜を(110)配向させることによりその上に形成するKNbO<sub>3</sub>薄膜4を(010)配向にエピタキシャル成長させることができる。KNbO<sub>3</sub>の<010>方向は分極軸方向である。

【0022】なお、Si基板上に直接SrTiO<sub>3</sub>薄膜を形成しようとする、相互の結晶構造、格子定数が異なるため、また相互拡散が起こるため、SrTiO<sub>3</sub>エピタキシャル薄膜の作製は困難である。すなわち、(110)Si基板とSrTiO<sub>3</sub>薄膜の間にSrO薄膜を

形成することにより、はじめて $\text{SrTiO}_3$ エピタキシャル薄膜の作製が可能となり、その上に形成される $\text{KNbO}_3$ 薄膜を高品質化できた。

【0023】次に、 $\text{KNbO}_3$ 薄膜4上に同じくレーザーアブレーション法を用いて保護層の酸化物または窒化物からなる薄膜5として $\text{SiO}_2$ アモルファス薄膜を連続形成する。 $\text{KNbO}_3$ のKが水分と反応しやすく経時変化を起こしやすいため、保護層があることが望ましい。また、 $\text{SiO}_2$ は温度係数の符号が $\text{KNbO}_3$ と逆のため温度特性をコントロールする役割も果たす。 $\text{SiO}_2$ と同様な役割を果たす材料として窒化アルミニウム(以下 $\text{AlN}$ )があり、したがって $\text{AlN}$ 薄膜を保護層として用いても良い。

【0024】最後に、 $\text{SiO}_2$ 上にアルミニウム薄膜を形成し、パターンニングして電極6を形成して表面弾性波素子10が作製される。

【0025】以上のような方法で作製した表面弾性波素子の特性を評価したところ、1.0%以上の $k^2$ が再現性よく得られた。ただし、 $k^2$ の値は $\text{KNbO}_3$ 薄膜4の品質および膜厚に依存するため、第1の酸化物薄膜層2および第2の酸化物薄膜層3を含め高品質な膜を得る成膜技術と膜厚の適正が必要である。なお、ここでは、第1の酸化物薄膜層2に $\text{SrO}$ 薄膜を用いたが、 $\text{MgO}$ 薄膜を用いても同様な効果が得られた。

【0026】【実施形態2】図2は本実施形態2における表面弾性波素子の断面構造を示す図である。この表面弾性波素子は、 $\text{Si}$ 基板11と第1の酸化物薄膜層12と第2の酸化物薄膜層13と $\text{KNbO}_3$ 薄膜14と保護層としての酸化物または窒化物からなる薄膜15と電極16で構成される。この電極16は、上部から観察すれば、例えば、図3及び4に示されているようなIDT電極41、42、51、52、53のような形状を持っている。

【0027】上記構成からなる本実施形態の表面弾性波素子の作製プロセスを具体的に示す。まず $\text{Si}$ (100)単結晶基板11上に第1の酸化物薄膜層12としてここでは酸化セリウム(以下 $\text{CeO}_2$ )薄膜を、レーザーアブレーション法を用いて形成する。 $1.3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ( $10^{-7} \text{ Torr}$ )の酸素プラズマ中で基板温度500℃で成膜したところ、 $\text{Si}$ (100)基板上に(100)配向の $\text{CeO}_2$ 薄膜が形成された。X線回折の極点図により $\text{CeO}_2$ 薄膜の面内配向を調べたところ、面内にも配向していることが確認された。すなわち、 $\text{Si}$ (100)基板上に(100)配向の $\text{CeO}_2$ 薄膜がエピタキシャル成長していることが確認された。

【0028】次に、第1の酸化物薄膜層12の $\text{CeO}_2$ 薄膜上に第2の酸化物薄膜層13である $\text{SrTiO}_3$ 薄膜を同じくレーザーアブレーション法を用いて形成する。なお、レーザーアブレーション装置は複数のターゲットを装着することが可能であり、連続的にいくつかの

異なる材料を成膜することが可能である。 $0.013 \text{ Pa}$ ( $10^{-4} \text{ Torr}$ )の酸素プラズマ中、基板温度600℃で成膜したところ、(100)配向の $\text{CeO}_2$ 薄膜上に(110)配向の $\text{SrTiO}_3$ 薄膜がエピタキシャル成長することが確認された。この配向関係も螢石型構造の $\text{CeO}_2$ とペロブスカイト構造の $\text{SrTiO}_3$ との結晶格子および格子定数の関係によるものと考えられる。

【0029】続いて、第2の酸化物薄膜層13の $\text{SrTiO}_3$ 薄膜上に圧電材料である $\text{KNbO}_3$ 薄膜14を同じくレーザーアブレーション法を用いて連続形成する。このとき、Kが蒸発しやすいので、ターゲット組成はKリッチにするといよい。 $10^{-4} \text{ Torr}$ の酸素プラズマ中、基板温度600℃で成膜したところ、(110)配向の $\text{SrTiO}_3$ エピタキシャル薄膜上に(010)配向の $\text{KNbO}_3$ 薄膜14がエピタキシャル成長していることが確認された。この時の $\text{KNbO}_3$ 薄膜14の膜厚を $1 \mu\text{m}$ とした。 $\text{SrTiO}_3$ と $\text{KNbO}_3$ は同じペロブスカイト構造であるが、この配向関係は格子定数の関係によるものであり、特開平10-65488号公報に記載されているものと同じであった。以上のように、

(100) $\text{Si}$ 基板11上に第1の酸化物薄膜層12の $\text{CeO}_2$ 薄膜と第2の酸化物薄膜層13の $\text{SrTiO}_3$ 薄膜をそれぞれ(100)配向、(110)配向にエピタキシャル成長させることができ、さらに $\text{SrTiO}_3$ 薄膜を(110)配向させることによりその上に形成する $\text{KNbO}_3$ 薄膜14を(010)配向にエピタキシャル成長させることができた。

【0030】 $\text{KNbO}_3$ の<010>方向は分極軸方向である。なお、 $\text{Si}$ 基板上に直接 $\text{SrTiO}_3$ 薄膜を形成しようとする、相互の結晶構造、格子定数が異なるため、また相互拡散が起こるため、 $\text{SrTiO}_3$ エピタキシャル薄膜の作製は困難である。すなわち、 $\text{Si}$ 基板と $\text{SrTiO}_3$ 薄膜の間に $\text{CeO}_2$ 薄膜を形成することにより、はじめて $\text{SrTiO}_3$ エピタキシャル薄膜の作製が可能となり、その上に形成される $\text{KNbO}_3$ 薄膜を高品質化できた。

【0031】次に、 $\text{KNbO}_3$ 薄膜14上に同じくレーザーアブレーション法を用いて保護層の酸化物または窒化物からなる薄膜15として $\text{SiO}_2$ アモルファス薄膜を連続形成する。 $\text{KNbO}_3$ のKが水分と反応しやすく経時変化を起こしやすいため、保護層があることが好ましい。また、 $\text{SiO}_2$ は温度係数の符号が $\text{KNbO}_3$ と逆のため温度特性をコントロールする役割も果たす。 $\text{SiO}_2$ と同様な役割を果たす材料として窒化アルミニウム(以下 $\text{AlN}$ )があり、したがって $\text{AlN}$ 薄膜を保護層として用いても良い。

【0032】最後に、 $\text{SiO}_2$ 上にアルミニウム薄膜を形成し、パターンニングして電極16を形成して表面弾性波素子が作製される。



【0033】以上のような方法で作製した表面弾性波素子の特性を評価したところ、10%以上の $k^2$ が再現性よく得られた。ただし、 $k^2$ の値は $\text{KNbO}_3$ 薄膜14の品質および膜厚に依存するため、第1の酸化物薄膜層12および第2の酸化物薄膜層13を含め高品質な膜を得る成膜技術と膜厚の適正が必要である。尚、ここでは $\text{CeO}_2$ を用いたが、 $\text{ZrO}_2$ や $\text{YSZ}$ を用いても同様な結果が得られる。

【0034】〔実施形態3〕図3は、本実施形態の周波数フィルタの外観を示す斜視図である。図3に示した周波数フィルタは基板40を有する。この基板40は、例えば図1に示した(110) Si基板1上に第1の酸化物( $\text{SrO}$ 又は $\text{MgO}$ )層2、第2の酸化物層( $\text{SrTiO}_3$ )3、 $\text{KNbO}_3$ 圧電薄膜4、及び保護層( $\text{SiO}_2$ 層又は $\text{AlN}$ 層)5を順に積層して形成した基板、図2に示した(100) Si基板11上に第1の酸化物( $\text{CeO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 又は $\text{YSZ}$ )層12、第2の酸化物層( $\text{SrTiO}_3$ 層)13、 $\text{KNbO}_3$ 圧電薄膜14、及び保護層( $\text{SiO}_2$ 層又は $\text{AlN}$ 層)15を順に積層して形成した基板である。

【0035】この基板40上面にはIDT電極(インターデジタル型電極: Inter-Digital Transducer)41及び42が形成されている。IDT電極41、42は、例えばAl又はAl合金により形成され、その厚みはIDT電極41、42のピッチの100分の1程度に設定される。また、IDT電極41、42を挟むように、基板40の上面には吸音部43、44が形成されている。吸音部43、44は、基板40の表面を伝播する表面弾性波を吸収するものである。基板40上に形成されたIDT電極41には高周波信号源45が接続されており、IDT電極42には信号線が接続されている。尚、上記IDT電極41は本発明にいう第1電極に相当し、IDT電極42は本発明にいう第2電極に相当する。

【0036】上記構成において、高周波信号源45から高周波信号が出力されると、この高周波信号はIDT電極41に印加され、これによって基板40の上面に表面弾性波が発生する。この表面弾性波は約5000m/s程度の速度で基板40上面を伝播する。IDT電極41から吸音部43側へ伝播した表面弾性波は吸音部43で吸収されるが、IDT電極42側へ伝播した表面弾性波のうち、IDT電極42のピッチ等に応じて定まる特定の周波数又は特定の帯域の周波数の表面弾性波は電気信号に変換されて、信号線を介して端子46a、46bに取り出される。尚、上記特定の周波数又は特定の帯域の周波数以外の周波数成分は、大部分がIDT電極42を通過して吸音部44に吸収される。このようにして、本実施形態の周波数フィルタが備えるIDT電極41に供給した電気信号の内、特定の周波数又は特定の帯域の周波数の表面弾性波のみを得る(フィルタリングする)こ

とができる。

【0037】〔実施形態4〕図4は、本発明の一実施形態の発振器の外観を示す斜視図である。図4に示した発振器は基板50を有する。この基板50は、例えば図1に示した(110) Si基板1上に第1の酸化物( $\text{SrO}$ 又は $\text{MgO}$ )層2、第2の酸化物層( $\text{SrTiO}_3$ )3、 $\text{KNbO}_3$ 圧電薄膜4、及び保護層( $\text{SiO}_2$ 層又は $\text{AlN}$ 層)5を順に積層して形成した基板、図2に示した(100) Si基板11上に第1の酸化物( $\text{CeO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 又は $\text{YSZ}$ )層12、第2の酸化物層( $\text{SrTiO}_3$ 層)13、 $\text{KNbO}_3$ 圧電薄膜14、及び保護層( $\text{SiO}_2$ 層又は $\text{AlN}$ 層)15を順に積層して形成した基板である。

【0038】この基板50上面にはIDT電極51が形成されており、更にIDT電極51を挟むように、IDT電極52、53が形成されている。IDT電極51~53は、例えばAl又はAl合金により形成され、それぞれの厚みはIDT電極51~53各々のピッチの100分の1程度に設定される。IDT電極51を構成する一方の櫛歯状電極51aには高周波信号源54が接続されており、他方の櫛歯状電極51bには信号線が接続されている。尚、IDT電極51は、本発明にいう電気信号印加用電極に相当し、IDT電極52、53はIDT電極51によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分又は特定の帯域の周波数成分を共振させる本発明にいう共振用電極に相当する。

【0039】上記構成において、高周波信号源54から高周波信号が出力されると、この高周波信号はIDT電極51の一方の櫛歯状電極51aに印加され、これによって基板50の上面にIDT電極52側に伝播する表面弾性波及びIDT電極53側に伝播する表面弾性波が発生する。尚、この表面弾性波の速度は5000m/s程度である。これらの表面弾性波の内の特定の周波数成分の表面弾性波はIDT電極52及びIDT電極53で反射され、IDT電極52とIDT電極53との間には定在波が発生する。この特定の周波数成分の表面弾性波がIDT電極52、53で反射を繰り返すことにより、特定の周波数成分又は特定の帯域の周波数成分が共振して、振幅が増大する。この特定の周波数成分又は特定の帯域の周波数成分の表面弾性波の一部は、IDT電極51の他方の櫛歯状電極51bから取り出され、IDT電極52とIDT電極53との共振周波数に応じた周波数(又はある程度の帯域を有する周波数)の電気信号が端子55aと端子55bに取り出すことができる。

【0040】図5は、本発明の実施形態の表面弾性波素子(発振器)をVCSO(Voltage Controlled SAW Oscillator: 電圧制御SAW発振器)に応用した一例を示す図であり、(a)は側面透視図であり、(b)は上面透視図である。VCSOは金属製(アルミニウム又はステンレス製)の筐体60内部に実装される。61は基板で



あり、この基板 61 上に IC (Integrated Circuit) 62 及び発振器 63 が実装されている。IC 62 は外部の回路 (図示せず) から入力される電圧値に応じて、発振器 63 に印加する周波数を制御するものである。

【0041】発振器 63 は、基板 64 上に、IDT 電極 65a ~ 65c が形成されており、その構成は図 4 に示した発振器とほぼ同様である。尚、基板 64 は、例えば図 1 に示した (110) Si 基板 1 上に第 1 の酸化物 (SrO 又は MgO) 層 2、第 2 の酸化物層 (SrTiO<sub>3</sub>) 3、KNbO<sub>3</sub> 圧電薄膜 4、及び保護層 (SiO<sub>2</sub> 層又は AlN 層) 5 を順に積層して形成した基板、図 2 に示した (100) Si 基板 11 上に第 1 の酸化物 (CeO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub> 又は YSZ) 層 12、第 2 の酸化物層 (SrTiO<sub>3</sub> 層) 13、KNbO<sub>3</sub> 圧電薄膜 14、及び保護層 (SiO<sub>2</sub> 層又は AlN 層) 15 を順に積層して形成した基板である。

【0042】また、基板 61 上には、IC 62 と発振器 63 とを電気的に接続するための配線 66 がパターンニングされている。IC 62 及び配線 66 が例えば金線等のワイヤー線 67 によって接続され、発振器 63 及び配線 66 が金線等のワイヤー線 68 によって接続されることにより、IC 62 と発振器 63 とが配線 66 を介して電気的に接続されている。尚、IC 62 と発振器 63 を同一 Si 基板上に集積することも可能である。

【0043】図 5 に示した VCSO は、例えば図 6 に示す PLL 回路の VCO (Voltage Controlled Oscillator) として用いられる。ここで、PLL 回路について簡単に説明する。図 6 は、PLL 回路の基本構成を示すブロック図である。図 6 に示したように、PLL 回路は、位相比較器 71、低域フィルタ 72、増幅器 73、及び VCO 74 から構成される。

【0044】位相比較器 71 は、入力端子 70 から入力される信号の位相 (又は周波数) と VCO 74 から出力される信号の位相 (又は周波数) とを比較し、その差に応じて値が設定される誤差電圧信号を出力する。低域フィルタ 72 は位相比較器 71 から出力される誤差電圧信号の位置の低周波成分のみを通過させ、増幅器 73 は低域フィルタ 72 から出力される信号を増幅する。VCO 74 は、入力される電圧値に応じて発振する周波数がある範囲で連続的に変化する発振回路である。かかる PLL 回路は、入力端子 70 から入力される位相 (又は周波数) と VCO 74 から出力される信号の位相 (又は周波数) との差が減少するように動作し、VCO 74 から出力される信号の周波数を入力端子 70 から入力される信号の周波数に同期させる。VCO 74 から出力される信号の周波数が入力端子 70 から入力される信号の周波数に同期すると、その後は一定の位相差を除いて入力端子 70 から入力される信号に一致し、また、入力信号の変化に追従するような信号を出力する。

【0045】〔実施形態 5〕図 7 は、本発明の一実施形

態の電子回路の電氣的構成を示すブロック図である。

尚、図 7 に示した電子回路は、例えば図 8 に示す携帯電話機 100 の内部に設けられる回路である。図 8 は、本発明の一実施形態による電子機器の 1 つとしての携帯電話機の外観の一例を示す斜視図である。図 8 に示した携帯電話機 100 は、アンテナ 101、受話器 102、送話器 103、液晶表示部 104、及び操作部 105 等を備えて構成されている。

【0046】図 7 に示した電子回路は、図 8 に示す携帯電話機 100 内に設けられる電子回路の基本構成を示し、送話器 80、送信信号処理回路 81、送信ミキサ 82、送信フィルタ 83、送信電力増幅器 84、送受分波器 85、アンテナ 86a、86b、低雑音増幅器 87、受信フィルタ 88、受信ミキサ 89、受信信号処理回路 90、受話器 91、周波数シンセサイザ 92、制御回路 93、及び入力/表示回路 94 を含んで構成される。

尚、現在実用化されている携帯電話機は、周波数変換処理を複数回行っているため、その回路構成はより複雑となっている。

【0047】送話器 80 は、例えば音波信号を電気信号に変換するマイクロフォン等で実現され、図 8 に示す携帯電話機 100 中の送話器 103 に相当するものである。送信信号処理回路 81 は、送話器 80 から出力される電気信号に対して、例えば D/A 変換処理、変調処理等の処理を施す回路である。送信ミキサ 82 は、周波数シンセサイザ 92 から出力される信号を用いて送信信号処理回路 81 から出力される信号をミキシングする。

尚、送信ミキサ 82 に供給される信号の周波数は、例えば 380MHz 程度である。送信フィルタ 83 は、中間周波数 (IF) の必要となる周波数の信号のみを通過させ、不要となる周波数の信号をカットする。尚、送信フィルタ 83 から出力される信号は図示していない変換回路により RF 信号に変換される。この RF 信号の周波数は、例えば 1.9GHz 程度である。送信電力増幅器 84 は、送信フィルタ 83 から出力される RF 信号の電力を増幅し、送受分波器 85 へ出力する。

【0048】送受分波器 85 は、送信電力増幅器 84 から出力される RF 信号をアンテナ 86a、86b へ出力し、アンテナ 86a、86b から電波の形で送信する。また、送受分波器 85 はアンテナ 86a、86b で受信した受信信号を分波して、低雑音増幅器 87 へ出力する。尚、送受分波器 85 から出力される受信信号の周波数は、例えば 2.1GHz 程度である。低雑音増幅器 87 は送受分波器 85 からの受信信号を増幅する。尚、低雑音増幅器 87 から出力される信号は、図示していない変換回路により中間信号 (IF) に変換される。

【0049】受信フィルタ 88 は図示していない変換回路により変換された中間周波数 (IF) の必要となる周波数の信号のみを通過させ、不要となる周波数の信号をカットする。受信ミキサ 89 は、周波数シンセサイザ 9

2から出力される信号を用いて送信信号処理回路81から出力される信号をミキシングする。尚、受信ミキサ89に供給される中間周波数は、例えば190MHz程度である。受信信号処理回路90は受信ミキサ89から出力される信号に対して、例えばA/D変換処理、復調処理等の処理を施す回路である。受話器91は、例えば電気信号を音波に変換する小型スピーカ等で実現され、図8に示す携帯電話機100中の受話器102に相当するものである。

【0050】周波数シンセサイザ92は送信ミキサ82へ供給する信号（例えば、周波数380MHz程度）及び受信ミキサ89へ供給する信号（例えば、周波数190MHz）を生成する回路である。尚、周波数シンセサイザ92は、例えば760MHzの発振周波数で発信するPLL回路を備え、このPLL回路から出力される信号を分周して周波数が380MHzの信号を生成し、更に分周して周波数が190MHzの信号を生成する。制御回路93は、送信信号処理回路81、受信信号処理回路90、周波数シンセサイザ92、及び入力／表示回路94を制御することにより携帯電話機の全体動作を制御する。入力／表示回路94は、図8に示す携帯電話機100の使用者に対して機器の状態を表示したり、操作者の指示を入力するためのものであり、例えば図8に示す携帯電話機100の液晶表示部104及び操作部105に相当する。

【0051】以上の構成の電子回路において、送信フィルタ83及び受信フィルタ88として図3に示した周波数フィルタが用いられている。フィルタリングする周波数（通過させる周波数）は、送信ミキサ82から出力される信号の内の必要となる周波数、及び、受信ミキサ89で必要となる周波数に応じて送信フィルタ83及び受信フィルタ88で個別に設定されている。また、周波数シンセサイザ92内に設けられるPLL回路は、図6に示したPLL回路のVCO74として、図4に示した発振器又は図5に示した発振器（VCSO）を設けたものである。

【0052】【実施形態6】図8は、本発明の一実施形態の携帯電話機の斜視図である。この図において、100は携帯電話、101はアンテナ、102は受話器、103は送話器、104は液晶表示部、105は操作部である。

【0053】以上、本発明の実施形態による表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器について説明したが、本発明は上記実施形態に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば上記実施形態においては電子機器として携帯電話機を、電子回路として携帯電話機内に設けられる電子回路を一例に挙げて説明した。しかしながら、本発明は携帯電話機に限定される訳ではなく、種々の移動体通信機器及びその内部に設けられる電子回路に適用することがで

きる。

【0054】更に、移動体通信機器のみならずBS及びCS放送を受信するチューナ等の据置状態で使用される通信機器及びその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。更には、通信キャリアとして空中を伝播する電波を使用する通信機器のみならず、同軸ケーブル中を伝播する高周波信号又は光ケーブル中を伝播する光信号を用いるHUB等の電子機器及びその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。

【0055】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、(1) シリコン基板又は(100)シリコン基板とKNbO<sub>3</sub>圧電薄膜を用いた表面弾性波素子であって、前記シリコン基板上に第1の酸化物薄膜層を形成し、該第1の酸化物薄膜層上に第2の酸化物薄膜層を形成し、該第2の酸化物薄膜層上に前記KNbO<sub>3</sub>圧電薄膜を形成し、さらに該KNbO<sub>3</sub>圧電薄膜上に酸化物または窒化物からなる薄膜を形成することにより、Si基板上に第1の酸化物薄膜層および第2の酸化物薄膜層を順にエピタキシャル成長させることが可能であり、さらにその上に高品質なKNbO<sub>3</sub>エピタキシャル薄膜も作製可能となり、量産性およびコスト面で有利な、安定で高いk<sup>2</sup>を有する表面弾性波素子を提供することができる。更に、この表面弾性波素子を用いて、省エネルギーに優れた周波数フィルタ、発振器、電子回路、及び電子機器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の表面弾性波素子の断面構造を示す図である。

【図2】 本発明の実施形態2の表面弾性波素子の断面構造を示す図である。

【図3】 本発明の実施形態3の周波数フィルタの外観を示す斜視図である。

【図4】 本発明の一実施形態による発振器の外観を示す斜視図である。

【図5】 本発明の実施形態の表面弾性波素子（発振器）をVCSO（Voltage Controlled SAW Oscillator：電圧制御SAW発振器）に応用した一例を示す図であり、(a)は側面透視図であり、(b)は上面透視図である。

【図6】 PLL回路の基本構成を示すブロック図である。

【図7】 本発明の一実施形態による電子回路の電気的構成を示すブロック図である。

【図8】 本発明の一実施形態による電子機器の1つとしての携帯電話機の外観の一例を示す斜視図である。

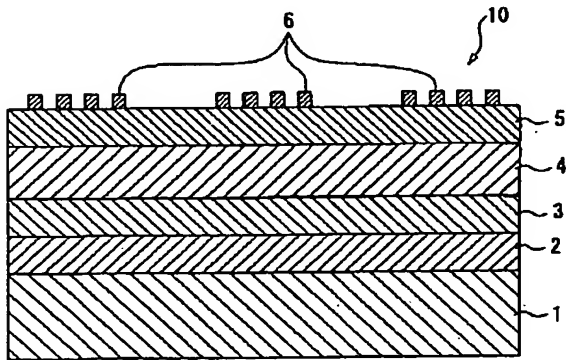
【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 第1の酸化物薄膜層
- 3 第2の酸化物薄膜層

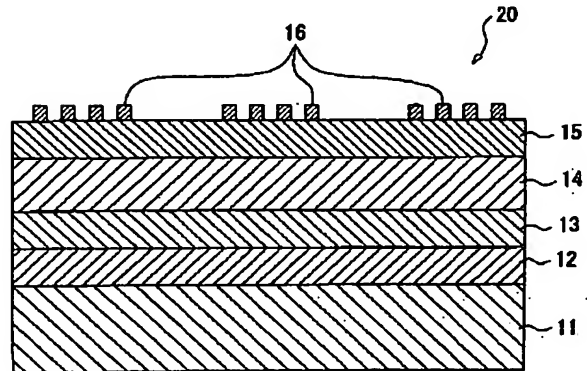
- 15  
 4 ニオブ酸カリウム圧電薄膜 (KNbO<sub>3</sub>薄膜)  
 5 保護層 (酸化物または窒化物からなる薄膜)  
 6 電極  
 10、20 表面弾性波素子

- 16  
 41 周波数フィルタにおける第1の電極  
 42 周波数フィルタにおける第2の電極  
 51 発振器における電気信号印加用電極  
 52、53 発振器における強震用電極

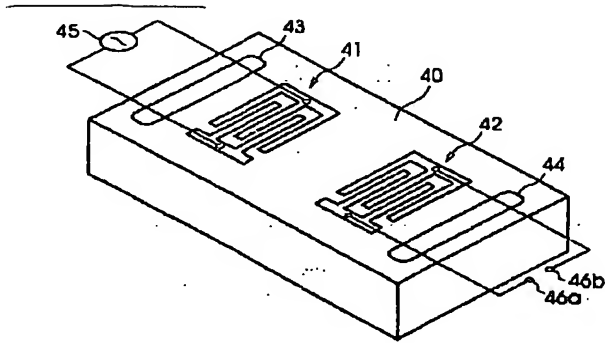
【図1】



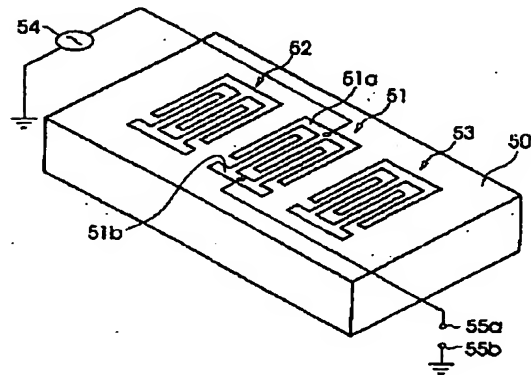
【図2】



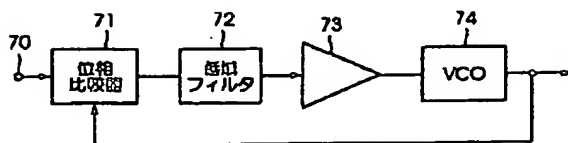
【図3】



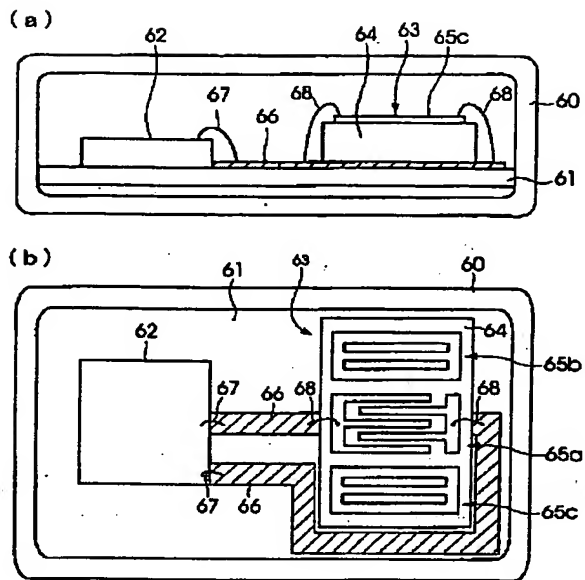
【図4】



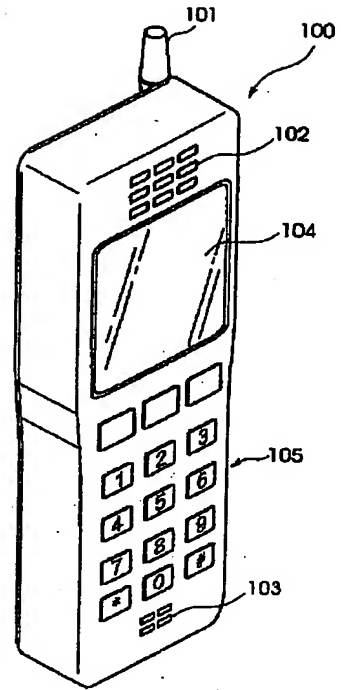
【図6】



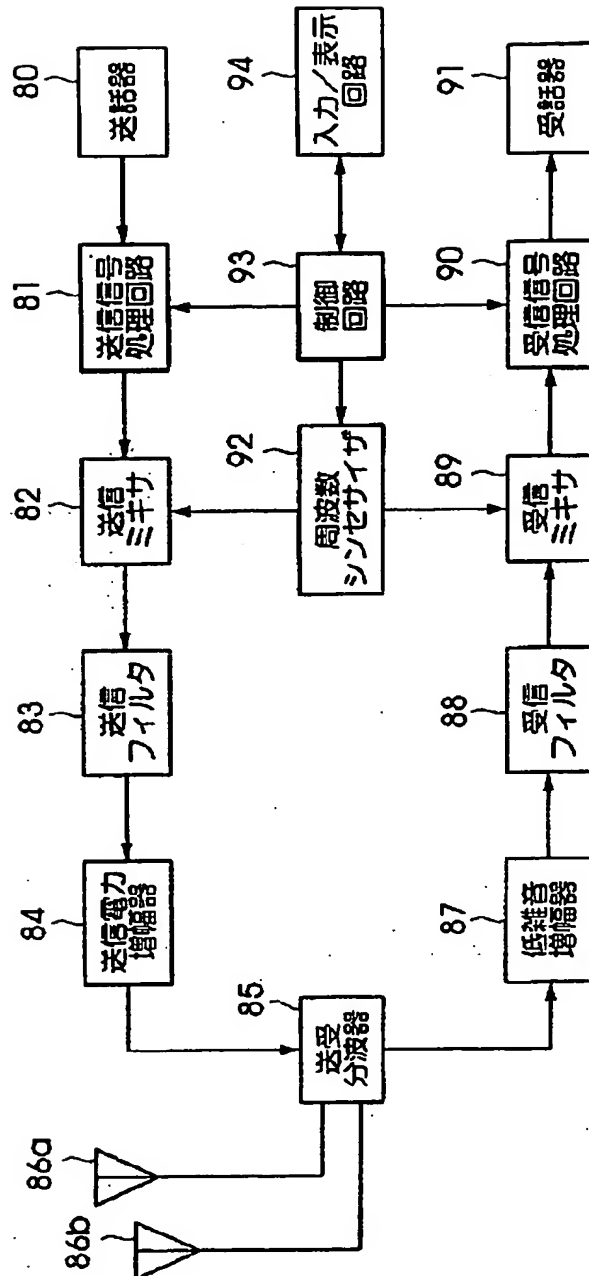
【図5】



【図8】



【図 7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H01L 41/18  
H03B 5/30  
H03H 9/145

識別記号

FI

H03H 9/72  
H01L 41/08  
41/18

テーマコード (参考)

D  
1012

9/72

41/08

C

(72)発明者 宮澤 弘  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
ーエプソン株式会社内

F ターム(参考) 4G048 AA04 AC01 AD02 AD06  
4G077 AA03 BC31 DA03 EA02 ED05  
ED06 EF01 EF02 HA11 SA04  
5J079 AA06 BA43 BA44 HA05 HA06  
HA16 HA22 HA25  
5J097 AA06 AA31 AA32 BB01 BB15  
DD28 EE08 FF02 FF03 FF08  
HA03 KK08 KK09 KK10